

Factores que han impulsado la innovación en la instrumentación industrial, un estudio de caso

L.R. Vega-González

*Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, CCADET
Coordinación de Vinculación, Laboratorio de Cibernética y Sistemas
E-mail: lrvg@servidor.unam.mx*

(recibido: octubre de 2003; aceptado: marzo de 2004)

Resumen

Los productos de la instrumentación industrial deben ser considerados como sistemas tecnológicos complejos, ya que en su fabricación se integran diversas tecnologías de información básicas. El objetivo central de los instrumentos, es la medición, el registro y el control de las variables de proceso, lo que permite la supervisión de los procesos de transformación de las materias primas y de manufactura, manteniéndolos dentro de los límites de seguridad y calidad adecuados. Los datos que aportan los instrumentos de campo industriales, son agrupados en las bases de datos de los registradores, los sistemas de adquisición de datos y los sistemas de control. Posteriormente, son compartidos y diseminados a través de los distintos niveles jerárquicos de las plantas y son la base de los sistemas de información gerencial. En base a esta información, los supervisores y los operadores manejan y corren los procesos. Diversos autores afirman que la dinámica de cambio de las tecnologías de información fundamentales ha seguido una trayectoria exponencial a partir de las últimas tres décadas del siglo pasado. A través de un estudio de caso y utilizando los diagramas "S" de difusión, y una adaptación de los árboles de Giget, en este trabajo intentaremos mostrar que la instrumentación industrial ha seguido esa dinámica de cambio en forma natural y se discutirán cuáles han sido los factores impulsores de la innovación. Finalmente, se revisan algunos de los problemas a los que hoy en día se enfrentan los fabricantes y los usuarios de instrumentos, dentro del modelo de innovación de aprendizaje organizacional de última generación.

Descriptor: instrumentación industrial, factores de innovación.

Abstract

The industrial instrumentation products must be considered as complex technological systems since its manufacturing depends from the integration of diverse basic information technology. The instruments central objective is the measurement, recording and control of process variables, permitting the transformation and manufacturing process supervision, maintaining them within adequate quality and security limits. Data provided by the field industrial

instrumentation is grouped in the recorders, data acquisition systems and control systems data bases. Later on, it is shared and disseminated through different plant hierarchical levels and are the fundamentals of the management information systems. With this information in hand, the operators and the plant supervisors handle and run the processes. Some authors affirm that the information technology change dynamics has followed an exponential trajectory coming from the last three decades of the last century. In this work, through a case study, and using "S" diffusion diagrams and an adaptation of Giger's trees methodologies, we will illustrate, that the industrial instrumentation has followed that dynamics change naturally, and also will discuss about the driving innovation factors. Finally, some today's manufacturers and users problems are reviewed within the framework of the last generation "learning organization" innovation model.

Keywords: industrial instrumentation, innovation factors.

Evolución histórica de las teorías de la innovación tecnológica

En 1912, Schumpeter J.A. publicó su "*Teoría del desarrollo económico*", difundiendo universalmente la concepción económica del término Innovación Tecnológica. El autor señalaba, entre otras cosas, que el emprendedor es un individuo cuyo interés principal es el de realizar "nuevas combinaciones" de los medios de producción, por lo tanto, el emprendedor visto como un agente económico es automáticamente innovador (Schumpeter, 1912).

Tres décadas después, en 1942, estudiando las diferencias entre los diversos sistemas económicos existentes en el concierto mundial, el mismo autor reafirmó la necesidad de la innovación organizacional y la renovación empresarial (Schumpeter, 1942).

Aunque posteriormente diversos autores trataron el tema, en realidad hubo escasas aportaciones relevantes para el mismo. Fue hasta 1982, cuando Nathan Rosenberg en su libro "*Inside the Black Box*", señaló que los antecedentes de la innovación eran la "sociología de la invención" y la dinámica de cambios en la estructura de la industria. Los avances se dieron al considerar que la capacidad *inventiva* de las organizaciones tenía que ver con la

innovación y que el análisis previo hecho por Schumpeter era incompleto, ya que la estructura industrial era cambiante y por lo tanto, su dinámica debería ser considerada.

Poco después, en 1986, Utterback realizó diversos estudios tratando de identificar la forma en que la estructura de diferentes industrias influía en el desarrollo de innovaciones. La idea central que manejaban los autores que trabajaban en el tema, era que la innovación se centraba en la estructura y en la dinámica de las organizaciones y de las industrias.

No satisfecho con la explicación anterior, en 1991, Roy Rothwell (1991), realizó en el Science Policy Research Unit, SPRU, de la Universidad de Sussex en Inglaterra, diversos estudios para determinar cuáles eran los *factores críticos* que influían en la innovación industrial de la época. En su investigación determinó que los cambios en la tecnología y en el proceso de comercialización del cambio tecnológico eran las variables que impulsaban el proceso de innovación industrial. A partir de entonces el fenómeno de cambio tecnológico se hizo presente al hablar de innovación.

Los diversos estudios hechos sobre el tema, han arrojado como resultado el uso de modelos, en su mayoría lineales, que intentan

explicar el proceso de innovación. El primer modelo, también conocido como modelo de primera generación, fue usado a principios de los años sesenta del siglo pasado y es mostrado en la figura 1. Esta concepción extremadamente sintética, consideraba que la innovación se daba por el balance de fuerzas entre el empuje tecnológico y el jalón del mercado.



Figura 1. Modelo de innovación lineal de primera generación

Para finales de la misma década, el modelo lineal se amplió a un mínimo de siete etapas, dentro de las cuales ya se consideraba a las empresas como actores centrales de la innovación. En la figura 2 se muestran las actividades mínimas que según el modelo, deben

realizarse en la empresa. Por supuesto, hoy se sabe que en algunos casos las ideas también surgen al interior de las empresas.

Los modelos de primera y segunda generación muestran una clara influencia del pensamiento económico Schumpeteriano, ya que proponen que los receptores de la innovación son el mercado o los usuarios, dándole a la innovación un sentido estrictamente utilitario.

En la figura 3 se muestra el modelo de "acoplamiento", o de tercera generación que prevaleció durante la siguiente veintena de años. Éste incorporó los elementos de los modelos previos, ya que hizo explícitos los procesos que se dan al interior de la empresa. Las distintas fases del proceso se ven sujetas a la dinámica de las variables ampliadas de las necesidades del mercado y la tecnología disponible. También se reconoció que el uso de las innovaciones se da en el mercado.

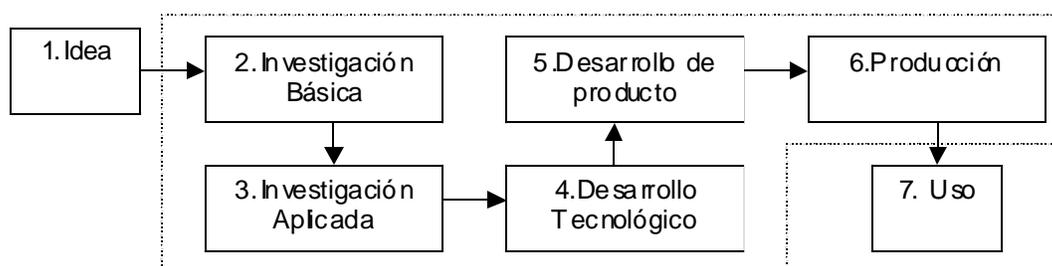


Figura 2. Modelo de innovación lineal de segunda generación

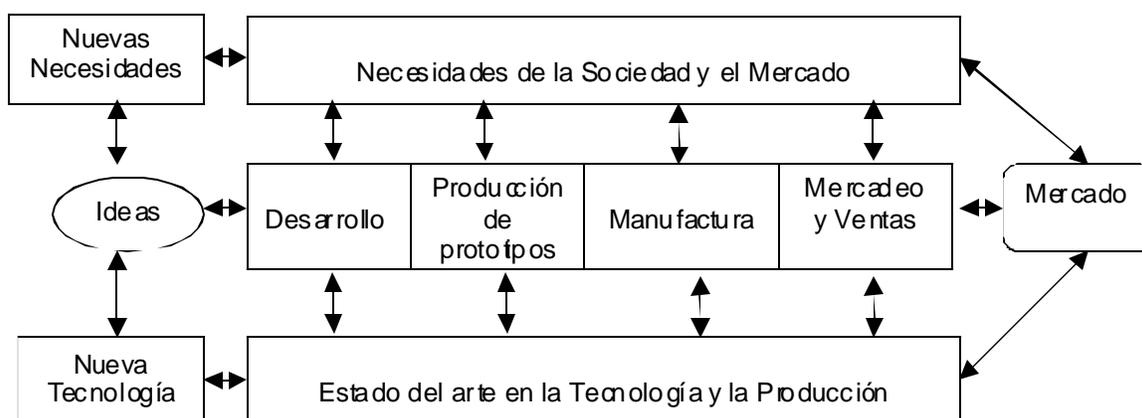


Figura 3. Modelo de innovación de tercera generación

Las ideas de Rosenberg y Utterback sobre la influencia de la dinámica industrial, aportaron nuevas luces para entender el proceso. Estudiando la dinámica de diferentes industrias en Norteamérica, Japón y Europa se desarrolló la *cuarta generación* de modelos de innovación.

En este modelo, la percepción de la forma en la que se daba el proceso de innovación cambió, al proponer que el fenómeno se daba como un gran proceso con etapas en paralelo, en lugar de un proceso secuencial lineal. Esta propuesta estaba muy de acuerdo con la ingeniería concurrente para el desarrollo de nuevos productos, usada entonces por empresas líderes en los países mencionados.

Hacia finales del siglo pasado, Roy Rothwell (Op. Cit.), propuso la *quinta generación* de modelos de innovación, a la que llamó "integración estratégica y redes". De acuerdo con este modelo, la innovación era cada día más rápida e involucraba redes de diversas empresas que se auxiliaban con el uso de

herramientas electrónicas tales como los sistemas de modelado y simulación. Este modelo mejoró y actualizó el modelo de 4ª generación, en el sentido de que hizo uso de las tecnologías de comunicación por Internet, por lo que también se conoce como desarrollo paralelo de productos *totalmente integrado*.

Algunos años después, Hinterhuber y Levin (1994), ampliaron el concepto del modelo de redes, indicando que las organizaciones futuras tendrían que estar constituidas por redes estratégicas horizontales, verticales y diagonales. Además, la organización por sí misma, en su conformación interna, pasaría a estar constituida por una red. Esto se cumplió plenamente en el caso de las organizaciones virtuales. En la misma época, Giget (1997), desarrolló el modelo del "Diamante de Innovación", usando algunos conceptos propuestos por Takeda (1993), quien propuso la necesidad de realizar innovaciones a través de la Cooperación (Figura 6).

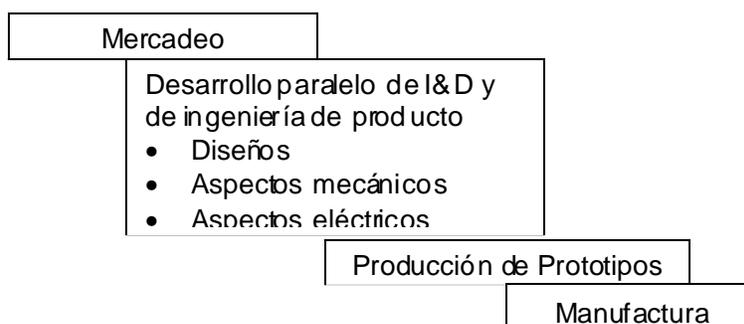


Figura 4. Modelo de innovación de cuarta generación. Ingeniería concurrente.

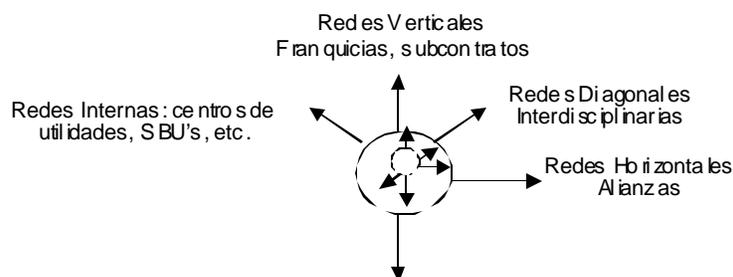


Figura 5. Modelo de 5ª generación de innovación de integración estratégica y redes. Rothwell, (Op. Cit.), Hinterhuber, (Op. Cit.)

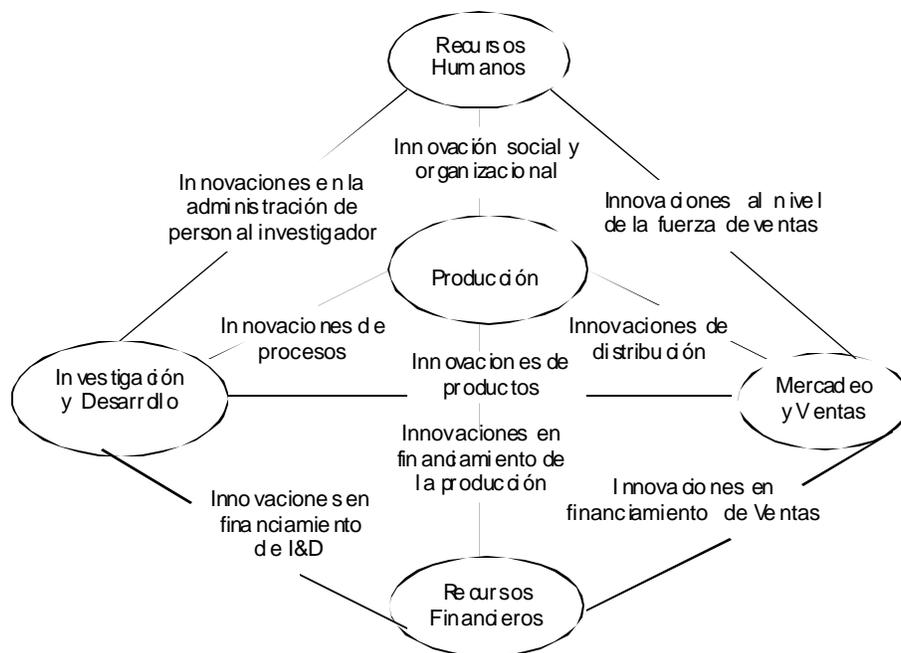


Figura 6. Modelo de 6ª. Generación, el Diamante de Innovación de Giget (Op. Cit)

Tal vez el modelo de innovación más actual, tuvo sus inicios cuando Drucker (1992), reconoció la importancia del conocimiento, como el factor que hacía que una organización fuera distinta y por lo tanto, constituía un recurso peculiar.

En los años siguientes, poco a poco se empezó a entender que lo más importante, sería la habilidad de usar el *conocimiento* científico y tecnológico, así como el económico, social y administrativo. De esta manera, a fines del siglo pasado, se inició la corriente del "aprendizaje organizacional" con Senge (1997), íntimamente relacionada con el conocimiento, como una de las variables más importantes impulsoras de la innovación.

Dentro de esta corriente, Campbell y Sommers (1997), reconocieron en las competencias críticas y las habilidades directivas el corazón de toda actividad exitosa. El concepto de competencias críticas ha sido identificado por diversos autores como las fortalezas, las habilidades, las capacidades, el *conocimiento organizacional* y los activos intangibles de la organización.

Hoy en día, el foco de la innovación se ha concentrado en el aprendizaje organizacional, el cual, de acuerdo con los autores, se manifiesta siguiendo las siguientes etapas: 1) adquisición de conocimientos, 2) diseminación y 3) utilización de los mismos.

Al relacionar la innovación con el conocimiento, este campo de estudios se abrió a los sociólogos, antropólogos y estudiosos de las organizaciones, quienes han demostrado que existen diversos tipos de conocimiento como el tácito y el codificado.

La corriente del conocimiento y del aprendizaje organizacional, está llevándonos a una transición de la economía del conocimiento. Según la OCDE (1999), la habilidad de crear, distribuir y explotar el conocimiento y la información se está convirtiendo muy rápidamente en la mayor fuente de ventaja competitiva, provocando la emergencia de colaboraciones y redes en forma intensiva. En resumen, la habilidad que tenga una organización para aprender la hará más innovadora.

El modelo de innovación de 7ª generación aún no está concluido, se encuentra en proceso. La figura 7 muestra la propuesta de Danneels (2002), que indica que los conocimientos aprendidos en una organización se convierten en nuevos productos a través de sus propias competencias tecnológicas y las de sus clientes.

En resumen, la revisión de los distintos modelos de innovación muestra que el *proceso de innovación tecnológica* tiene el común denominador de que el corazón de los productos o servicios innovadores son las organizaciones que los producen.

A través de diversas técnicas de gestión, las organizaciones pueden implantar procesos dinámicos de innovación tecnológica que deben ser parte de sus planes tecnológicos globales.

Finalmente, podemos decir que el proceso de innovación tecnológica tiene, entre otras, las siguientes características:

- Alto sentido utilitario; es decir, sus resultados deben poder medirse en incrementos de las utilidades, en la productividad, en la mejora a los niveles de bienestar social, etcétera.
- Favorece la articulación de las fortalezas técnicas de la organización con las necesidades de su entorno.

- Es un proceso complejo y multidisciplinario.
- Es un proceso socialmente distribuido.
- La evaluación de su calidad debe estar basada en la medida de impactos tangibles (social, ambiental, rentabilidad, índices, sostenibilidad).

Caso de estudio: una empresa de instrumentación industrial en México

Antecedentes

Según el marco teórico presentado en la sección anterior, a continuación trataremos de identificar los factores que han propiciado el proceso de innovación en el campo de las organizaciones que desarrollan y aplican la instrumentación industrial.

La instrumentación para medición, registro y control es indispensable en toda industria en donde se realicen procesos de transformación, ya que permite la supervisión y la administración de las variables físicas generadas en los mismos.

Los procesos parten del agregado de distintas materias primas, las cuales se transforman por medio de la energía suministrada en formas y equipos diversos, tales como calderas, reactores, digestores, columnas fraccionadoras, etcétera. Se requiere la transportación

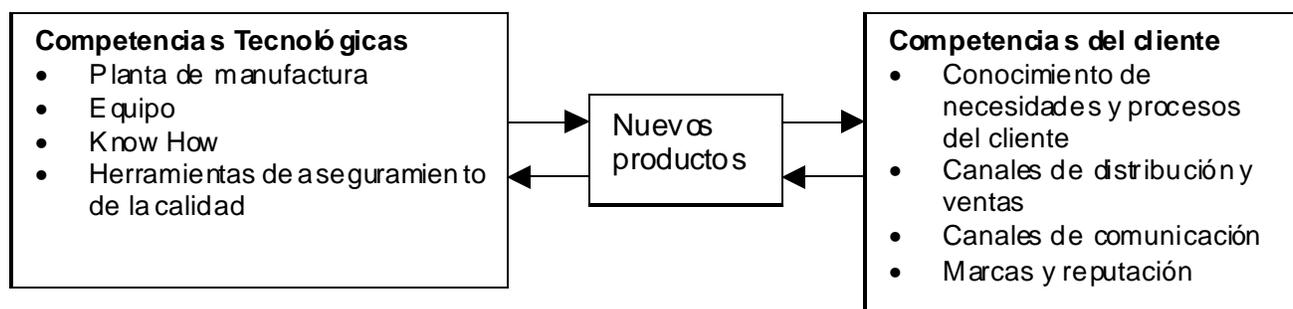


Figura 7. La innovación de productos relacionada con las competencias. Danneels, (Op. Cit)

masiva de materiales diversos, materias primas, reactivos, catalizadores y otros componentes que se combinan y transforman hasta que se obtienen los productos terminados. Existen controles automáticos para gobernar el flujo de todos estos materiales en la planta.

La instrumentación industrial para medición y control puede verse como el respaldo de operación más importante para los procesos de transformación, ya que la supervisión del comportamiento de las variables que intervienen en un proceso, permite, entre otras cosas lo siguiente:

- Revisar y controlar que las condiciones de funcionamiento de los sistemas que intervienen en el proceso sean las adecuadas para obtener los productos con la calidad adecuada, en condiciones de costos de producción mínimos y total seguridad de los operadores, los equipos y sistemas.
- Prestar auxilio a los operadores en las secuencias de arranque o paro de plantas.
- Optimizar las condiciones de seguridad de la planta.
- Detectar posibles fallas y elaborar planes de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Analizar el comportamiento de la planta.
- Realizar estudios para optimizar la operación de los equipos de proceso con el fin de establecer programas de ahorro de energía.
- Analizar el comportamiento global de la planta a fin de determinar la correcta operación de acuerdo con las normas de desechos ambientales, tanto líquidos, sólidos o gaseosos.
- En caso de fallas, accidentes, paros de planta o condiciones de emergencia, la

instrumentación permite tener acceso a información de primera mano para determinar las causas de la situación.

De tal manera que, por pequeño que sea un proceso, siempre se requerirá de al menos un instrumento de indicación o registro.

Por otra parte, hay que considerar, que la dinámica de la innovación en la instrumentación industrial puede estudiarse teniendo como objeto de estudio las posibilidades siguientes: la industria manufacturera de instrumentos, las diferentes industrias consumidoras o la forma como han evolucionado tecnológicamente los instrumentos.

Los estudios sobre la dinámica de la innovación en los segmentos industriales son extremadamente complejos, debido a la multitud de variables que se manejan, Utterback (Op. Cit.). Para simplificar este análisis, a continuación realizaremos una semblanza de lo que ha ocurrido con las empresas de instrumentación industrial en México,

Posteriormente, se estudiará la forma en que se ha dado la innovación en este campo, a través del estudio de la evolución de las características técnicas relevantes de los instrumentos industriales durante las últimas décadas.

El mercado y el inventario nacional de instrumentos industriales

El mercado de la instrumentación industrial en México, comenzó escasamente desde los años cuarentas. En esa época existían representaciones locales de empresas manufactureras de instrumentos, principalmente con sede de los Estados Unidos de Norteamérica, tales como Honeywell y Taylor Instruments, entre otras. Cabe aclarar, que el mercado era

compartido en una menor proporción por algunos fabricantes europeos como Siemens.

Para mediados de la década de los años ochenta, el tamaño del mercado de la instrumentación de procesos en México sin incluir válvulas ni elementos finales de control, promediaba aproximadamente 200 millones de dólares cada año, de acuerdo con datos del INEGI (1990), la Sociedad de Instrumentistas de América, Sección México y de la Asociación Mexicana de Fabricantes de Equipos de Medición y Control (AMFEMCA).

Con la aparición de nuevas políticas económicas en el sector paraestatal, este mercado decayó al orden de 50 Millones de dólares EUA para principios de la última década del siglo pasado.

Debido al nuevo impulso en las inversiones, tanto del sector público como del privado, en la primera década del Siglo XXI, se estima que el mercado de instrumentos en México alcanzará un mínimo de 40,000 Mdls, debido a proyectos muy importantes, tales como la reconfiguración de las Refinerías de PEMEX, la construcción de nuevas plataformas de PEMEX, la Hidroeléctrica "El Cajón" y diversos proyectos de la iniciativa privada, como la nueva planta armadora de Ford en Hermosillo.

En la figura 8 puede verse que entre 1980 y 1985, tan sólo había unas veinte empresas subsidiarias o representantes de empresas extranjeras que ofrecían instrumentación industrial instaladas en México, hoy en día el número de empresas que participan en las ferias de instrumentación industrial es superior a las doscientas. Además, es posible tener contacto con cientos de otras empresas en todo el mundo a través de Internet. Por lo tanto, con las nuevas reglas de los mercados globales, la oferta se ha disparado.

Para hablar del inventario de equipos en operación, tenemos que hacerlo seleccionando un tipo específico de instrumentación. Tomemos como ejemplo, el caso de los registradores multipunto. Hacia 1985, la Gerencia de Operación de la Comisión Federal de Electricidad, consideraba que el inventario de equipos operando dentro de las plantas del sector eléctrico superaba el millar de unidades, considerando las plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y geotérmicas.

Si se incluyeran también los instrumentos de las plantas petroquímicas y de refinación de PEMEX que operaban en esa época, el inventario sin lugar a dudas alcanzaría varias decenas de miles de unidades.

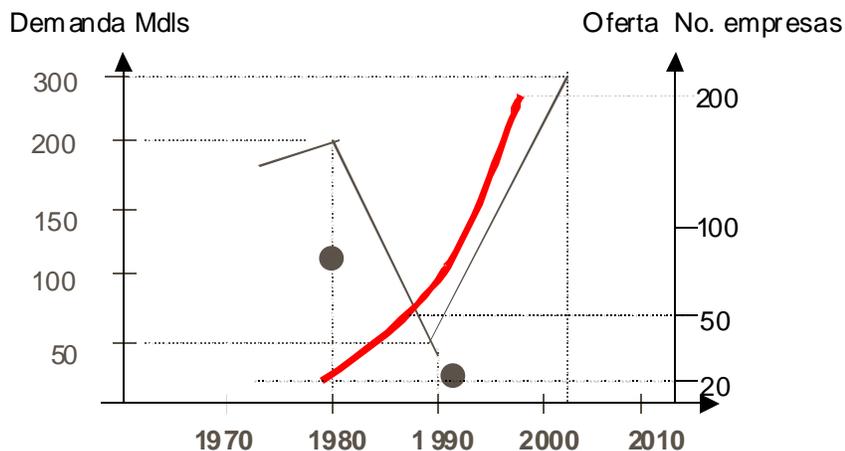


Figura 8. Variables del mercado de la instrumentación industrial

Especificaciones del caso y Metodología de análisis

Uno de los objetivos de estudiar la evolución y prospectiva tecnológica de la instrumentación industrial, es el de comprender la forma como se ha llegado al estado del arte de las tecnologías de la instrumentación. Es muy notorio que esta evolución se alimenta de los avances en otras tecnologías de la información integradoras, tales como los dispositivos semiconductores, las computadoras y los protocolos de comunicaciones.

Las preguntas básicas de este tipo de investigación pueden ser:

- ¿Cuál es la tendencia de las tecnologías relacionadas con la instrumentación?
- ¿Cómo definir las capacidades organizacionales a desarrollar para enfrentar el reto de mantener el inventario de instrumentación nacional?
- ¿Qué elementos se deben tener en cuenta para realizar la planeación tecnológica y orientar las adquisiciones de instrumentos para los grandes grupos industriales?
- ¿Cómo generar capacidades críticas en las empresas usuarias para realizar el mantenimiento y operar la instrumentación que tienen instalada?
- ¿Qué tipo de instrumentación se debe desarrollar en los Centros e Institutos de Investigación y Desarrollo para atender a los usuarios de mercado nacional?
- ¿Cuál es la posición relativa que ocupan nuestros desarrollos dentro del contexto de la oferta internacional de instrumentación?

Dada la imposibilidad de analizar el total de la oferta de instrumentación existente, decidimos restringir la investigación a un análisis de caso.

La empresa fabricante de instrumentación industrial estudiada fue la firma Leeds & Northrup Co., empresa líder del ramo durante los últimos treinta años del siglo pasado, con una amplia y reconocida reputación. Hoy en día, L&N Co. ya no existe en el mercado internacional, debido a que a finales del siglo pasado, fue absorbida por otras empresas internacionales como resultado de diversas alianzas estratégicas.

En particular, se hizo el análisis de la evolución tecnológica de los registradores y controladores modulantes, desarrollados y difundidos por la firma mencionada por más de medio siglo.

La información documental fue recopilada directamente laborando en la subsidiaria mexicana de L&N Co. durante más de veinte años.

Los resultados del análisis pueden ser representativos de la forma en como se han dado estos fenómenos en otras marcas y tipos de instrumentación. Estudios similares pueden realizarse para otros dispositivos, utilizando el mismo método de análisis.

El estudio del cambio tecnológico se realizó sobre las características relevantes de los equipos. En caso de realizar un estudio similar para otras marcas de instrumentación, probablemente existirán pequeñas diferencias, para lo cual, habrá que hacer adecuaciones a la metodología.

Para elaborar el análisis tecnológico se estudiaron algunos aspectos técnicos de la instrumentación, tales como el procesamiento electrónico y algunos mecanismos con funciones diversas. Se tomó especial cuidado en las especificaciones relevantes de los instrumentos.

Se consideró que en la evolución de la instrumentación industrial han existido dos tipos de innovación:

- 1) Innovaciones radicales, entendidas como aquellas que al presentarse propician el diseño y el desarrollo de los nuevos instrumentos, e
- 2) Innovaciones incrementales que se dan cuando se incorporan modificaciones y mejoras en instrumentos ya existentes en el mercado, utilizando los últimos avances tecnológicos o nuevas tecnologías.

Las curvas "S" de difusión de los instrumentos, son parte de las herramientas más utilizadas cuando se estudia la difusión y/o el ciclo de vida de cualquier tipo de productos. El crecimiento de una misma curva "S", puede

prolongarse cuando los fabricantes le agregan al producto innovaciones incrementales.

Por otra parte, cuando a un instrumento se le adapta alguna innovación radical, puede cambiar la curva "S" o la familia del instrumento (Figura 9).

Para poder realizar el conteo de las diferentes familias de instrumentación presentadas dentro de un período definido de tiempo, y con el ánimo de poder incluir en un diagrama la mayor cantidad posible de información descriptiva de las características más representativas de los instrumentos, modificamos el modelo clásico de un instrumento constituido por las etapas de entrada, procesamiento y despliegue en cascada, por un modelo modificado de árboles tecnológicos, (Giget, 1988) (Figura 10).

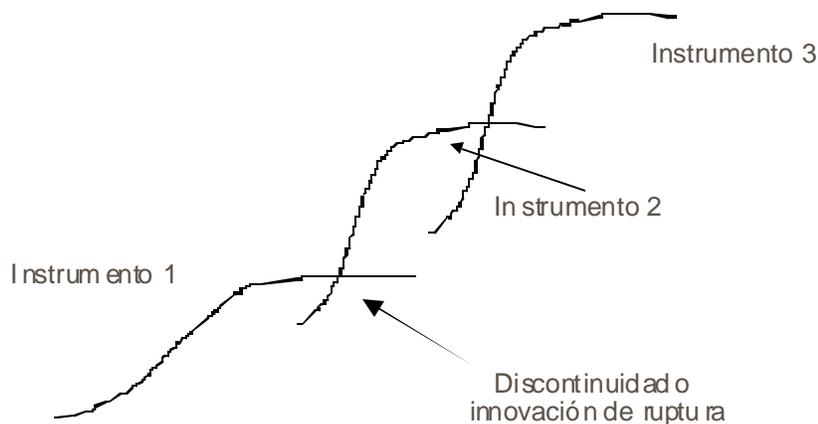


Figura 9. Evolución de los instrumentos al presentarse innovaciones de ruptura

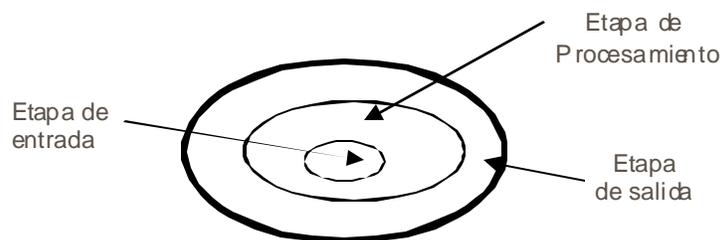


Figura 10. Construcción de un modelo de árboles tecnológicos a partir del propuesto por Giget (Op. Cit)

Resultados

Las figuras 11 y 12 presentan los árboles tecnológicos realizados para registradores y controladores industriales de la empresa Leeds & Northrup Co. En la raíz de los árboles se presentan los instrumentos desarrollados por la firma en sus inicios (Clark, 1966). Posteriormente, se presentan las características técnicas de los instrumentos según la década correspondiente. La copa de los árboles corresponde a los instrumentos actuales. Para la construcción de los árboles se utilizó la información de los distintos manuales de operación y servicio de los instrumentos (Manuales, hojas de datos y folletos 1 a 8 y 9 a 14), así como las aportaciones de Martín (1989 y 1995), Szklanny y Behrends (1994), Taylor (1982), Von Hippel (1988) y Kuhlman, *et al.* (1989). A partir de las figuras 11 y 12 se construyó la tabla 1.

En la tabla 1 pueden verse los resultados del análisis de la información contenida en los árboles tecnológicos de los controladores y de los registradores multipunto. La primera columna muestra las fechas aproximadas de la aparición de innovaciones tecnológicas de

ruptura que afectaron a la instrumentación industrial. Las siguientes columnas incluyen algunos rangos de las fechas aproximadas en las que ya estaban disponibles para su comercialización los instrumentos que incorporaban los desarrollos tecnológicos. Esto, naturalmente, sucedía primero en los Estados Unidos de Norteamérica y posteriormente en México.

La quinta columna muestra la diferencial de tiempo en estos eventos de forma aproximada. En las sexta y séptima columnas, puede verse cuantas familias de un mismo tipo de instrumentos, registradores y controladores aparecieron en forma comercial dentro de los periodos considerados.

De la tabla 1 se desprende que en México tuvimos un tiempo de atraso promedio de 5 años, en el periodo que va desde 1950 hasta 1985, entre la aparición comercial internacional de los nuevos instrumentos que incorporaban innovaciones tecnológicas y la posibilidad de introducirlos y utilizarlos dentro del país.

En las últimas décadas, las innovaciones se han multiplicado, ya que a cada tipo de tecnología se le han hecho innovaciones incrementales o mejoras tecnológicas permanentes; por ejemplo, se aumentó la velocidad

Tabla 1. Resultados del árbol tecnológico (^A significa diferentes versiones de instrumentos computarizados disponibles)

Fecha Aprox	Tecnología Semiconductores	Instr. Comercial en México	Instr. Comercial en México	Δ T AÑOS	Familias de registradores multipunto	Familias de controladores modulantes
1950 - 1960	Transistores	1965-1970	1975-1985	10	1	1
1965 - 1970	Circuitos integrados	1980-1985	1985-1990	5	2	2
1970 - 1975	μ Procesador de 8 bits	1981	1985	5	3	4
1985	μ Procesador De 32 bits	1988	1990 a la fecha	2	4 ^A	4 ^A
2003	μ Procesador Pentium	2003	2003	0	10 ^A	10 ^A

de procesamiento de los microprocesadores de 16 Mhz a 25 Mhz, y en menos de dos años a 33 Mhz y así sucesivamente.

En general, podemos decir que cada una de las mejoras incrementales, permitió nuevas versatilidades o características para los instrumentos. En este esquema de innovación permanente, muy pronto fue posible contar con nuevas pantallas de despliegue en gas plasma, posteriormente en cristal líquido. También aumentó la capacidad de incluir nuevas funciones programables y muchas otras características técnicas (*features*).

Es así como se originaron diferentes versiones de los instrumentos, a las cuales hemos llamado "familias" de registradores o de controladores, en el resumen de la tabla 1.

Análisis de factores de impulso a la innovación

La innovación en la instrumentación industrial ha sido impulsada por alguno de los siguientes factores:

- Como la respuesta de los fabricantes a los requerimientos de nuevos instrumentos por parte del mercado a través de la aplicación de nuevas tecnologías y técnicas aplicadas a los mismos.
- Por medio de la implementación de nuevas ideas para generar cambios o mejoras en la apariencia, funcionalidad operación y reducción de costos de los instrumentos.
- Cuando la estrategia de los fabricantes es la pronta emisión de un nuevo instrumento o la modificación de alguno ya existente al presentarse el fenómeno de "saturación" del mercado de los equipos que ya han sido difundidos.

Aparentemente, la variable común de todos estos procesos de cambio e innovación es la *búsqueda de un aumento en la competitividad*, tanto de los fabricantes como de los usuarios de instrumentos.

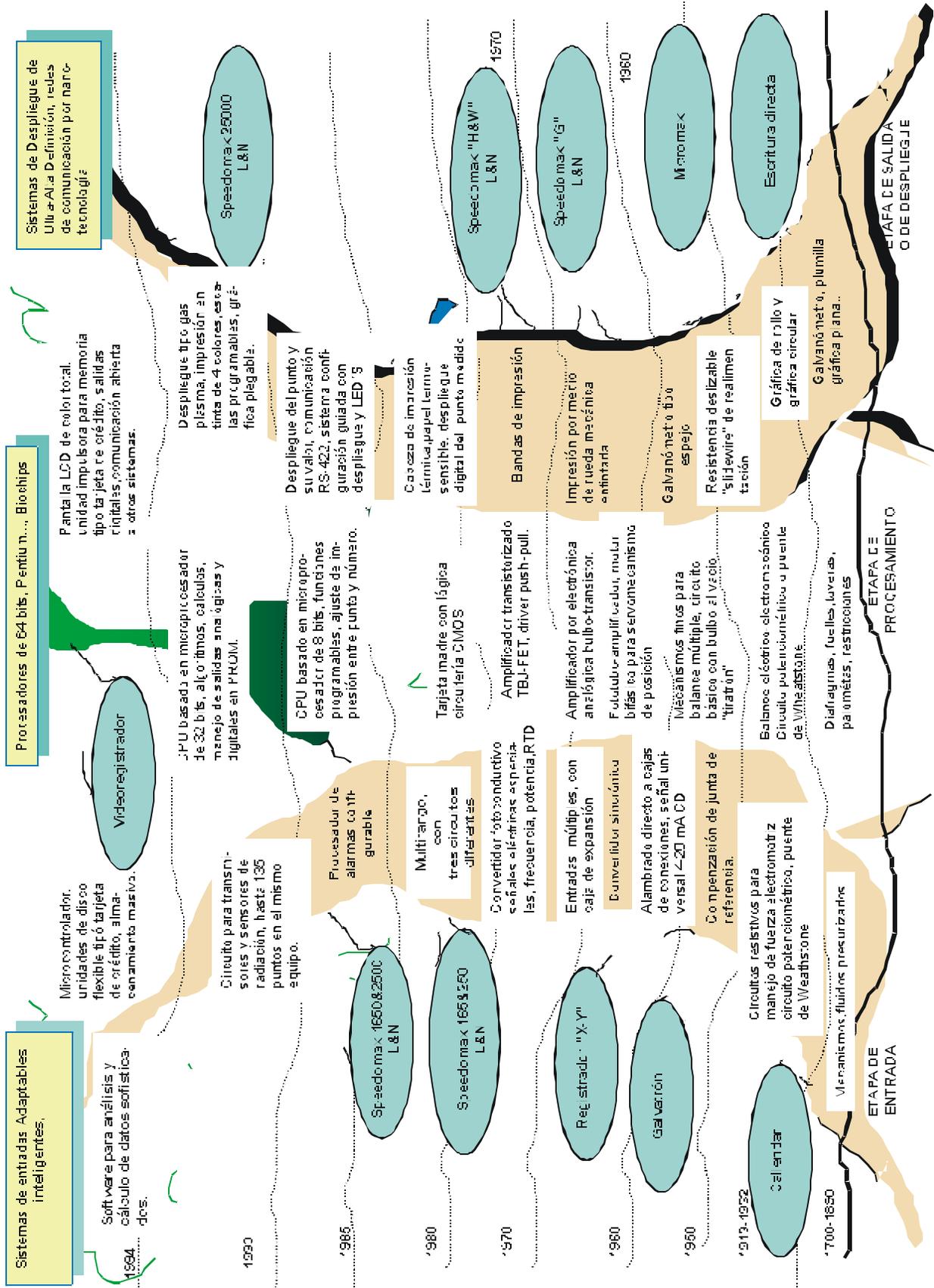


Figura 11. Árbol de evolución tecnológica de los Registradores Industriales

Factores que han impulsado la innovación en la instrumentación industrial, un estudio de caso

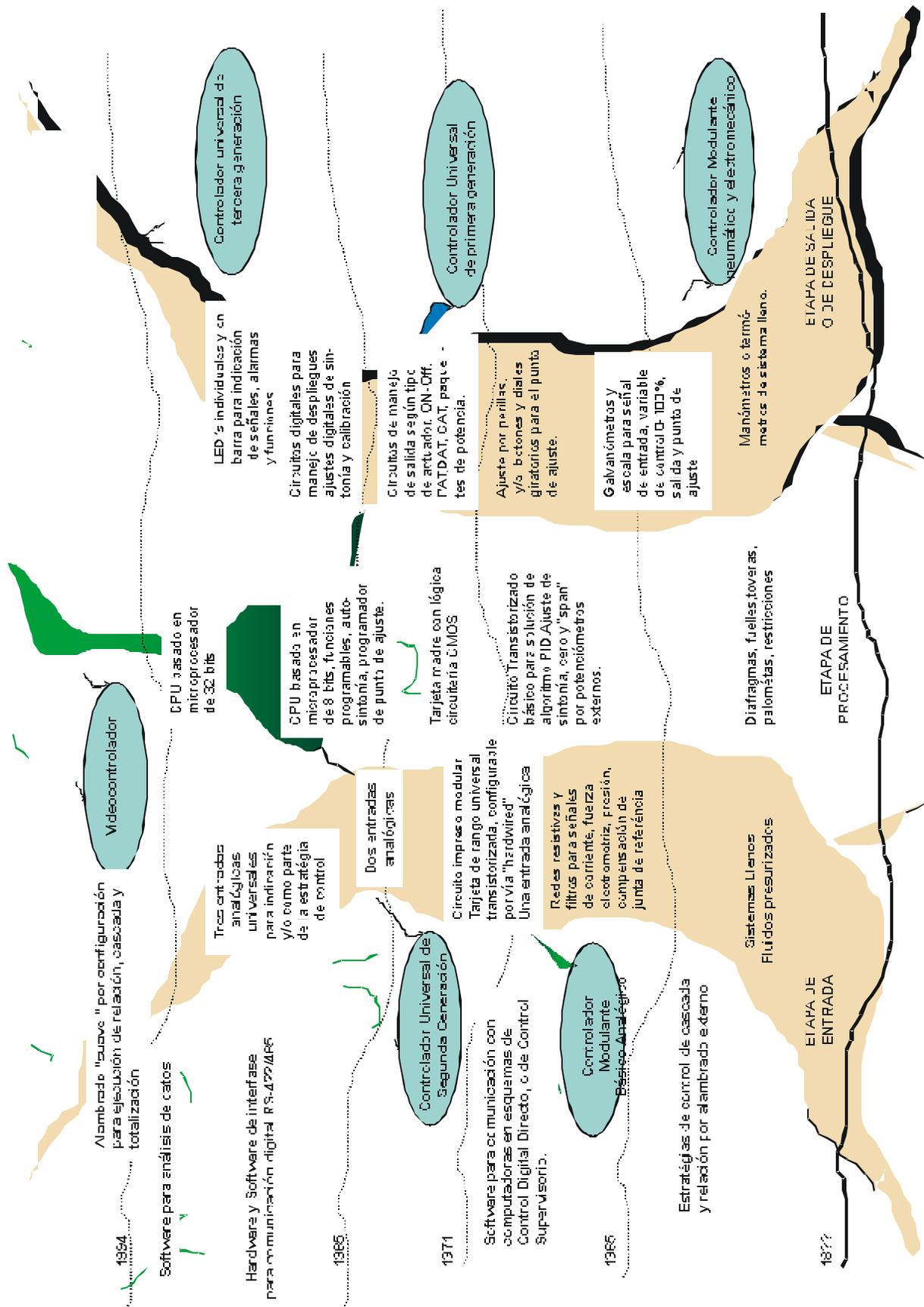


Figura 12. Árbol de evolución tecnológica de Controladores Industriales

Conclusiones

Empresas fabricantes

Al igual que el fenómeno que sucede en muchos campos de la industria electrónica, en México prácticamente no hay empresas fabricantes de instrumentación industrial. El mercado es atendido por subsidiarias y representantes de las empresas fabricantes internacionales tales como: Honeywell, Bailey, Asea-Brown Boveri, Taylor-Combustion, Foxboro, Texas Instruments, Rosemount, Mitsubishi, Toshiba y Hitachi, entre muchas otras. Estas empresas internacionales son las verdaderas "atacantes" tecnológicas, según la clasificación de Foster (1986), ya que continuamente incluyen innovaciones a sus productos y por lo tanto, promueven el acortamiento de los ciclos de vida de los mismos, el cual es cada vez menor.

En los últimos años, los fabricantes han incrementado el número de nuevas versiones de los instrumentos y han hecho múltiples innovaciones de mejora. Algunos ejemplos son el aumento en la velocidad de procesamiento, el manejo de nuevas pantallas, la inclusión de diferentes formas de programación y de nuevas funciones programables, etcétera.

Cuando alguna de las etapas de un instrumento alcanza sus "límites tecnológicos", como es el caso de las etapas de procesamiento de los instrumentos que usan procesadores de última generación, la innovación se busca en alguna otra de las etapas. Fue muy notorio ver como a principios de este siglo se logró el dominio de las tecnologías de fabricación de las pantallas planas de cristal líquido, las cuales muy pronto fueron incorporadas a los instrumentos. Por esta

razón, ahora disponemos en el mercado de video controladores y video registradores.

Empresas usuarias

El acortamiento de los ciclos de vida está generando una rápida obsolescencia de los instrumentos. Esta situación está planteando problemas muy serios de operación y toma de decisiones tecnológicas cotidianos en las plantas de procesos industriales.

Las empresas usuarias enfrentan serios *problemas de asimilación tecnológica*, ya que el tiempo de retraso que se daba entre la aparición internacional del instrumento y la aparición en el mercado mexicano se ha venido reduciendo a cero, como se ve en el último renglón de la tabla 1. Esto significa que los operadores y los superintendentes de las plantas tienen que asimilar las nuevas tecnologías de sus instrumentos "sobre la marcha"; es decir, mientras los instalan.

También hay nuevos problemas para tomar las decisiones sobre adquisición tecnológica. Las preguntas que comúnmente se plantean son las siguientes, entre muchas otras:

- ¿Qué instrumento comprar?, ¿el más nuevo tecnológicamente hablando?,
- ¿Igual a la tecnología instalada para compartir la existencia de refacciones?,
- ¿O debemos esperar medio año más para adquirir el modelo tecnológico reciente?

La actuación de los usuarios debe estar acorde con el último modelo de innovación, es decir, con el modelo de "aprendizaje organizacional". Hoy en día, una de las tareas continuas de los supervisores y los técnicos en instrumentación de las plantas debe ser el *autoaprendizaje continuo*.

Según las necesidades de las plantas, *¡ a veces los operadores requieren aprender el uso, puesta en operación, programación, verificación de la operación continua, mantenimiento, para tres o más tipos de equipos distintos a un mismo tiempo!*

Por lo tanto, las necesidades de capacitación tecnológica tanto para los tomadores de decisiones como para los operadores de las plantas va en continuo incremento.

En conclusión, en el caso de la instrumentación industrial, la innovación se ha propiciado principalmente por el "empuje tecnológico" más que por la demanda de los mercados globales crecientes de los procesos industriales. Para poder cumplir con esta dinámica los fabricantes han tenido que recurrir a instalar y trabajar bajo combinaciones de los modelos de innovación más actuales, tales como el modelo integral de redes y los modelos de producción por ingeniería concurrente.

México tiene una participación creciente en esta demanda del mercado y se mantiene como "usuario seguidor" ante la dinámica impresionante de estos dispositivos de alta tecnología.

La instrumentación industrial es parte de las tecnologías de la información y su dinámica está sustentada en el seguimiento del "estado del arte" de las tecnologías integradoras fundamentales, tales como los dispositivos electrónicos, los procesadores, las memorias, el software de sistemas operativos y de aplicación, así como del desarrollo de los sistemas de despliegue de datos. En el caso de los sistemas de instrumentación abiertos, los protocolos de comunicaciones son también una variable integradora fundamental.

Agradecimientos

Agradecemos al Sr. Joe Kulak, Director de Marketing Internacional de Leeds & Northrup Co., su autorización para publicar la información sobre los instrumentos analizados.

Referencias

- Campbell y Sommers (1997). *Estrategia basada en competencias críticas*.
- Clark W.R. (1966). *Recorders*. Reprint from Encyclopaedia of Industrial Chemical Analysis, Vol. 3, John Wiley & Sons, Inc., EUA.
- Danneels E. (2002). The Dynamics of Product Innovation and Firm Competences. *Strategic Management Journal*, Vol. 23, pp. 1095-1121, John Wiley & Sons.
- Drucker P.F. (1992). The Age of Discontinuity: Guidelines to our Changing Society. *Transaction Publishers, USA*.
- Foster N.R. (1986). *Innovation, the Attackers Advantage*. Summit Books, New York, NY.
- Giget M. (1988). The Bonsai Trees of Japanese Industry. *Futures*, April, pp.147-154, Great Britain, UK.
- Giget M. (1997). Technology, Innovation and Strategy: Recent Developments. *International Journal of Technology Management*, Vol. 14, Nos.6/7/8, pp. 613-634.
- Hinterhuber H.H. y Levin B. (1994). Strategic Networks, the Organization of the Future. *Long Range Planning*, Vol.27, No. 3, pp. 43-53, Elsevier Science Limited, GB.
- INEGI (1990). *Aparatos para medida y análisis*. Comercio Exterior de México, según actividad económica de origen y grupos de productos, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

- Kuhlman F., Concheiro A.A. y Mateos A. (1989). *Comunicaciones, pasado y futuros*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Martin B.R. e Irvine J. (1989). *Research Foresight*, Pinter Publishers, EUA.
- Martin G. (1995). Neural Network Applications for Prediction, Control & Optimisation. *Advances in Instrumentation & Control*, Vol. 50, Part 2, p. 433, ISA Services Inc, Austin Texas, EUA.
- Organization for Economic Cooperation and Development, OCDE (1999). Observer, June page 1.
- Riedel J. y Pawar K.S. (1991). The Strategic Choice of Simultaneous Versus Sequential Engineering for the Introduction of New Products. *International Journal of Technology Management, Special Issue on Manufacturing Strategy*, Vol. 6, Nos. 3/4, pp. 321-334.
- Rosenberg N. (1982). Inside the Black Box: the Historiography of Technical Progress. Cambridge University Press, NY, EUA.
- Rothwell R. (1991). Successful Industrial Innovation: Critical Factors for the 1990's. *R&D Management*, Vol.22, No. 3, pp. 221-239.
- Sengue P.M. (1997). *La quinta disciplina: el arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. Garnica, Barcelona España.
- Schumpeter J.A. (1912). *Teoría del desarrollo económico*. Verlag Dunker & Humbolt, Munich, D.R. Fondo de Cultura Económica, México, 5ª Reimpresión.
- Schumpeter J. (1942). *Capitalismo, Socialismo y Democracia*. Harper, New York, EUA.
- Szklanny S. y Behrends C. (1994). *Sistemas Digitales de Control de Procesos*, Editorial Control S.R.L., Buenos Aires, Argentina.
- Takeda Y. (1993). Managing Technology for the 21st Century. *Research & Technology Management*, November-December, pp.8-9.
- Taylor L.L. (1982). System Engineering of Microprocessor Based Control Systems. Proceedings of the 1982 Symposium, Instrument Society of America, Newark, Delaware, EUA.
- Utterback J. (1986). Innovation and Corporate Strategy. *International Journal of Technology Management*, Vol. 1. Nos.1/2, pp. 119-132.
- Von-Hippel E. (1988). *The Sources of Innovation*. Oxford University Press, New York, Oxford.

Manuales, hojas de datos y folletos

Registradores

- 1 Boletín PO.0011BR-7/94. The Progeny Family, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 2 Catálogo General de Instrumentación Industrial (1971). HO.0001 171, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 3 Catálogo General de Instrumentación Industrial (1972). HO.0001-INT 172, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 4 Catálogo General de Instrumentación Industrial (1979). HO.0001 1179, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 5 Hoja de Datos CO.7111-DS, Registradores Multipunto Speedomax 1650&2500, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.

- 6 Hoja de Datos CO.7130-DS, Registrador Multipunto Speedomax 25000, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 7 Manual de instrucciones 077990 Ed. 17 y suplementos 077990/177232 Speedomax H, Leeds & Northrup Co., y amplificadores de estado sólido.
- 8 Manual de operación y servicio 177976 Rev. B, Registradores industriales Speedomax 165& 250, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 9 Boletín de aplicación E9.9102-AB, Industrial Boiler Steam Temperature Control. Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 10 Boletín de aplicación Self Tunning PID Controller. Control Engineering reprint, New Jersey, EUA.
- 11 Catálogo CO.6802 BR, Instrumentación Industrial, Línea Centry, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 12 Hoja de datos CO.6824-DS, Controlador Supervisorio, línea Centry, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 13 Manual de operación 177584 Issue 1, Controladores Electromax Mark III, modelo 6430, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.
- 14 Manual de operación 277650 Rev. J1, Controladores de propósito general para lazo sencillo, Electromax V Plus, Leeds & Northrup Co., Philadelphia Pennsylvania, EUA.

Controladores

Semblanza del autor

Luis Roberto Vega-González. Es ingeniero mecánico electricista por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Obtuvo la maestría en ingeniería de sistemas en el área de planeación por la DEPFI-UNAM y la maestría en administración de las organizaciones por la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración de la UNAM. Asimismo, se especializó en gestión de la innovación tecnológica por el Centro para la Innovación Tecnológica y la FCyA de la UNAM. Durante más de veinte años colaboró en diversas firmas nacionales e internacionales con proyectos en las áreas de instrumentación, control y potencia. Actualmente es coordinador de vinculación y gestión tecnológica del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la UNAM.